

УДК 621.3

ПРИМЕНЕНИЕ РЭН-МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧЕ ДОСТОВЕРИЗАЦИИ ДАННЫХ УСТРОЙСТВ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

С. Е. Шендер¹, А. В. Паздерин²

^{1,2} Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

¹ s.e.shender@urfu.ru

Аннотация. В работе представлен метод эквивалентирования электроэнергетических систем (ЭЭС) на основе РЭН-моделей. Проанализирована возможность применения таких моделей для решения задачи достоверизации данных устройств синхронизированных векторных измерений. Показано, что применение РЭН-моделей для решения этой задачи дает приемлемые результаты. Приведены погрешности расчетных значений узловых напряжений, полученные в исследовании. Показана возможность обнаружения недостоверных данных устройств синхронизированных векторных измерений.

Ключевые слова: эквивалентирование ЭЭС, синхронизированные векторные измерения, достоверизация данных, система мониторинга переходных режимов

APPLICATION OF REW-MODELS IN THE PROBLEM OF DATA VERIFICATION OF SYNCHRONIZED MEASUREMENT DEVICES

S. E. Shender¹, A. V. Pazderin²

^{1,2} Ural Federal University named after the First
President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

¹ s.e.shender@urfu.ru

Abstract. The paper presents a method for EES equivalence based on REW models. The possibility of using REW-models for solving the problem of verifying the data of devices for synchronized vector measurements is analyzed. It is shown that the use of REW-models for solving this problem gives acceptable results. The errors of the calculated values of the nodal stresses obtained in the study are given. The possibility of detecting invalid data of synchronized vector measurements devices is shown.

Keywords: EES equivalence, synchronized vector measurements, verification of data, transient monitoring system

Развитие технологии синхронизированных векторных измерений (СВИ) позволяет изменить и усовершенствовать подходы к определению параметров эквивалентов электроэнергетических систем (ЭЭС). Определение их фактических параметров позволяет улучшить точность и скорость решения многих задач управления режимами ЭЭС [1]. Схема РЭН является радиальной (Р), эквивалентной (Э) замещающей схемой и зависит только от состояния ее граничных узлов, т. е. независима (Н) от остальной части схемы [2].

Линейная часть включает в себя проводимости (сопротивления) ветвей, для которых характерна линейная зависимость тока от напряжения [2]:

$$I = YE \quad (1)$$

Нелинейная часть системы состоит из ветвей различной природы, связывающих узлы линейной части с нейтральным узлом (или землей). Следует отметить, что рассматриваемые ветви не могут быть отображены проводимостями (за исключением поперечных П-образных схем замещения) [3].

Математическая модель рассматриваемой подсхемы описывается уравнением:

$$[i] = [y] \cdot [e]. \quad (2)$$

Сгруппировав уравнения матричного выражения (2), имеем:

$$\begin{bmatrix} r & i_r \\ c & i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{rr} & y_{rc} \\ y_{cr} & y_{cc} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} e_r \\ e_c \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Моделирование нагрузок с помощью соответствующих проводимостей позволяет исключить из числа искоемых переменных токи в нагрузочных узлах. С учетом этого имеем:

$$\begin{bmatrix} i_r \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{rr} & y_{rc} \\ y_{cr} & y_{cc} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} e_r \\ e_c \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Из системы уравнений (4) исключаются переменные e_c . При этом оставшиеся элементы матрицы $[y]$ пересчитываются по формулам:

1) для недиагональных элементов:

$$y_{mn(\text{нов})} = y_{mn(\text{стар})} - \frac{y_{ms}y_{ns}}{y_{ss}}; \quad (5)$$

2) для диагональных элементов:

$$y_{mm(\text{нов})} = y_{mm(\text{стар})} - \frac{y_{ms} y_{ms}}{y_{ss}}. \quad (6)$$

В результате исключения всех узлов группы с получим:

$$i_r = [y_r] \cdot [e_r]. \quad (7)$$

Уравнение узла i , входящее в систему (7), является основой построения РЭН-схемы для узла i . В выражении (7) выделим это уравнение от других:

$$\begin{bmatrix} i_g \\ i_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{gg} & y_{gi} \\ y_{ig} & y_{ii} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} e_g \\ e_i \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Запишем отдельно уравнение узла i :

$$i_i = y_{i1}e_1 + y_{i2}e_2 + \dots + y_{ii}e_i. \quad (9)$$

Выражение (9) позволяет строить эквивалентную РЭН-схему.

Пусть в генераторных узлах исходной исследуемой сети установлены системы мониторинга переходных режимов (СМПР). Посредством предложенного алгоритма можно исключить нагрузочные узлы из сети, достигнув топологии, в которой генераторные узлы связаны между собой. Далее на основе закона Ома можно достоверизировать данные СМПР по каждому из генераторных узлов путем расчета в РЭН-эквиваленте каждого напряжения генераторного узла n в сети от других $(n - 1)$ узлов. Таким образом, достигается избыточность информации об узловых напряжениях в генераторных узлах, что позволяет повысить точность исходных данных СМПР, а также выявить недостоверные данные:

$$\begin{aligned} y_{11\text{new}} &= y_{11} - \frac{y_{12}y_{12}}{y_{22}} \\ y_{33\text{new}} &= y_{33} - \frac{y_{23}y_{23}}{y_{22}} - \frac{y_{34}y_{34}}{y_{44}} \\ y_{55\text{new}} &= y_{55} - \frac{y_{45}y_{45}}{y_{44}} \\ y_{13\text{new}} &= -\frac{y_{12}y_{23}}{y_{22}} \end{aligned} \quad (10)$$

$$y_{35\text{new}} = -\frac{y_{34}y_{45}}{y_{44}}$$

$$y_{15\text{new}} = y_{15}$$

Полученные результаты представлены в таблице.

Таблица

Результаты расчета узловых напряжений

Параметр	Узел № 1	Узел № 3	Узел № 5
$E_{\text{изм. 1}}, \text{кВ}$	220,130	219,840	219,870
$E_{\text{расч. 1, 3}}, \text{кВ}$	219,406	220,440	220,658
$E_{\text{расч. 1, 5}}, \text{кВ}$	219,473	219,900	219,783
$E_{\text{сред. 1}}, \text{кВ}$	219,670	220,060	220,104
Погрешность расчета, %	+0,209	−0,100	−0,106

Из представленных результатов видно, что погрешности расчета узловых напряжений генераторных узлов 1, 3, 5 составили +0,209 %, −0,100 %, −0,106 % соответственно. Уровни погрешностей находятся на уровне <0,5 %. Важно отметить, что чем выше избыточность информации по каждому узлу (т. е. количество генераторных узлов, посредством которых возможна достоверизация каждого из них), тем ниже будет уровень погрешности вычисления узлового напряжения в исследуемом узле. При увеличении погрешности расчета напряжения по какому-либо узлу становится очевидным, что определенное расчетное значение обуславливает такую ошибку. С учетом того, что расчет производится по каждому узлу отдельно, становится возможным идентифицировать недостоверные измерения устройств синхронизированных векторных измерений (УСВИ).

Список источников

1. IEEE Std C37.118–2005. IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems [Electronic resource]. URL: https://standards.ieee.org/standard/C37_118–2005.html (date of access: 25.11.2020).
2. Димо П. Модели РЭИ и параметры режима. Объединенные энергосистемы. М. : Энергоатомиздат, 1987.
3. Димо П. Узловой анализ электрических систем. М. : Мир, 1973.